

Análisis de la distribución de hidrógeno en contención y pozo seco de C.N. Cofrentes

M^a del Carmen Molina, César Serrano, Montserrat González, Gonzalo Jimenez, Emma López-Alonso

1. INTRODUCCIÓN

Iberdrola Ingeniería ha llevado a cabo, con el apoyo de la UPM, el análisis para secuencias de accidente severo de la distribución de hidrógeno en contención y pozo seco de C.N. Cofrentes para definir la instalación de Recombinadores Pasivos Autocatalíticos (PAR) con objeto de dar respuesta a la ITC 3 post-Fukushima como resultado de las “pruebas de resistencia”.

El análisis se inició con un planteamiento metodológico en base al estado del arte de los códigos termohidráulicos utilizados a nivel mundial para el estudio de la distribución del hidrógeno en contención. Los resultados incluyen el uso del código MAAP4.07 para el análisis de generación de hidrógeno, utilizado por C.N. Cofrentes en los análisis de APS Nivel 2, y del código GOTHIC8.0 para el análisis de distribución de hidrógeno en contención y pozo seco.

El desarrollo del modelo de la Contención de C.N. Cofrentes mediante GOTHIC se ha llevado a cabo introduciendo todos los datos geométricos y de estructuras de la Contención, pudiendo así modelar todos los recintos interiores y habitaciones que la componen. De esta forma se ha obtenido un modelo 3D detallado y con la precisión suficiente para el estudio global de la gestión del hidrógeno, permitiendo tener en cuenta, a la hora de la distribución del hidrógeno, la asimetría tanto de la contención como de las descargas de masa y en energía que en ella se realizan, permitiendo simular la distribución del vapor y el hidrógeno presentes en el accidente severo para poder determinar las zonas de mayor riesgo de deflagración o detonación durante la evolución del accidente

De esta forma, la distribución de hidrógeno en la contención se ha analizado con el modelo 3D, teniendo como entradas las descargas de masa y energía obtenidas con MAAP, a partir de criterios de selección probabilistas y deterministas e incorporando análisis de incertidumbres, siendo las secuencias elegidas las siguientes:

- Pérdida total de agua de alimentación (TLOFW), limitante en la descarga a contención a corto plazo.
- Pérdida de refrigerante en Pozo Seco (LOCA), limitante en la descarga a pozo seco a corto plazo
- Pérdida total de corriente alterna exterior e interior (SBO), envolvente en generación total de hidrógeno al cabo de 24 horas de accidente.

2. PROCESADO DE DATOS

Como herramienta adicional, se ha hecho necesario desarrollar un programa que permita procesar los datos de salida de GOTHIC, debido a que el mallado tridimensional del modelo aporta multitud de resultados en cada una de las celdas en las que ha sido subdividida la contención.

Mediante este programa se permite procesar los resultados obtenidos y así facilitar su interpretación, proporcionando un conjunto de imágenes con un resumen gráfico, de todo lo acontecido durante la secuencia simulada, aportando, para cada celda, información sobre los estados de detonación y deflagración, basándose en el principio de Le Chatelier.

Con los datos de concentraciones volumétricas (molares) que extraídas de GOTHIC, el predictor opera y ofrece 3 posibles resultados:

- Detonación
- Deflagración sin ignitores
- Deflagración con ignitores

De esta forma, el programa genera un conjunto de imágenes a modo de resumen gráfico, para cada nivel y para cada volumen de control, de lo acontecido durante el transitorio. El gráfico muestra para los distintos niveles en los que la contención se ha dividido, los resultados más desfavorables para cada celda, mediante el siguiente código de colores:

Verde	La mezcla de gases no condensables esta fuera de los límites de inflamabilidad
Amarillo (Deflagración CI)	La mezcla de gases necesita de la presencia de una fuente térmica para que pueda llegarse a producir la combustión de la misma.
Naranja (Deflagración SI)	La mezcla de gases no necesita de la presencia de ninguna fuente térmica para que se produzca su combustión. (El frente de la se propagaría a una velocidad menor que la del sonido)
Rojo (Detonación)	La combustión de la mezcla de gases se produciría sin la presencia de fuente térmica. Se llega a un estado de detonación, ya que el frente de llama se propaga a una velocidad mayor a la velocidad del sonido y se forman ondas de choque.

Tabla 1. Leyenda Colores-Resultados

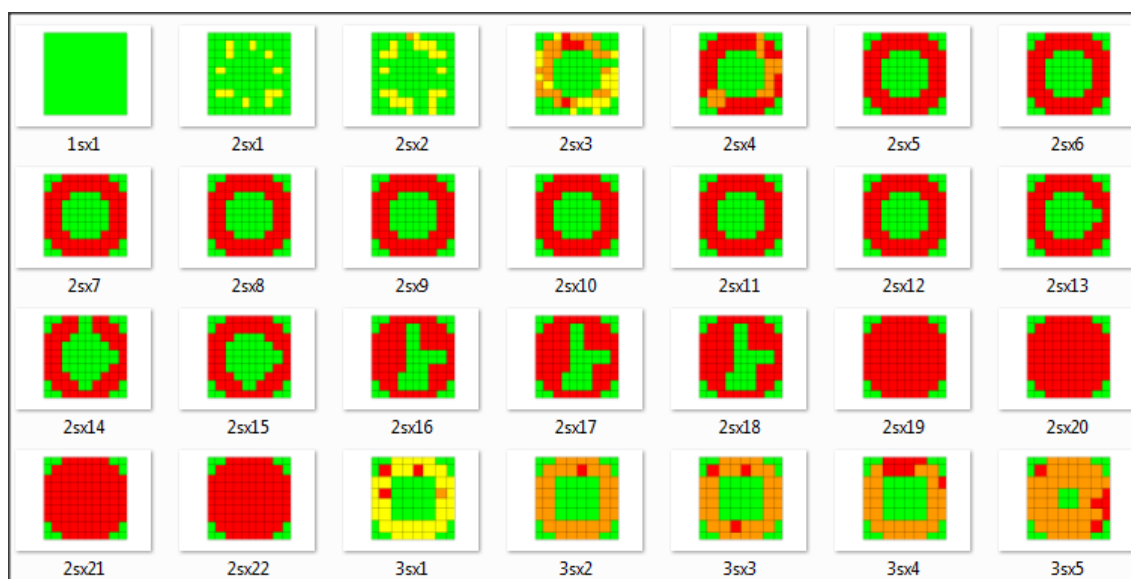


Figura 1. Resultados gráficos del PredictorV8

Adicionalmente, el programa genera crea un conjunto de archivos, para cada volumen de control del modelo, que muestran la siguiente información:

- Detime: Tiempo de inicio y fin ventanas de detonación.
- Deftime: Tiempo de inicio y fin ventanas de deflagración sin ignitores (SI).
- Comtime: Tiempo de inicio y fin ventanas de deflagración con ignitores (CI).
- Detdur: Duración de la ventana de detonación.
- Defdur: Duración de la ventana de deflagración SI.
- Comdur: Dduración de la ventana de deflagración CI.

De esta forma, los resultados se muestran de una forma más clara y visual, teniendo en cuenta no solo la concentración de hidrógeno en cada instante, sino también la del resto de gases presentes en la contención en cada instante del accidente.

3. ANÁLISIS DE LOS CAMINOS DE HIDRÓGENO

Una vez con el modelo completo y las descargas de masa y energía seleccionadas, se ha procedido a realizar el análisis de la distribución de hidrógeno en la Contención fruto de estas descargas. En primer lugar se ha analizado la distribución de hidrógeno en un modelo sin recombinadores, mostrando los caminos principales del hidrógeno en la contención para cada uno de los escenarios. De esta forma, se tiene una distribución de hidrógeno que permite localizar aquellas ubicaciones tales como zonas de paso (escaleras, hueco de equipos) o acumulación, en las que se hará necesaria la colocación de PARs.

Los caminos preferenciales de hidrógeno han resultado ser el hueco de equipos, y el hueco situado entre las salas y la contención. Las zonas de acumulación identificadas fueron mayormente la plataforma de hormigón situada entre la piscina de supresión y las habitaciones de la contención.

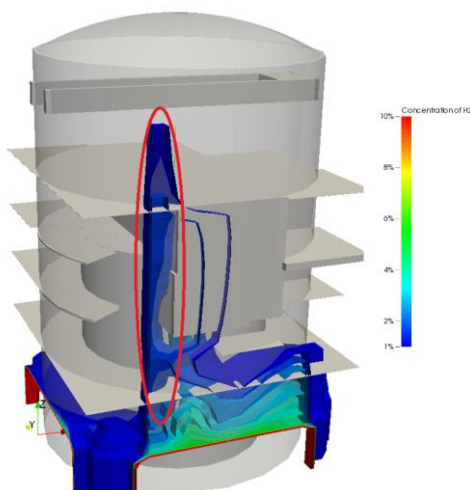


Figura 2. Corriente ascendente por el hueco de equipos ($t=2390$ s). Escenario SBO

Como ejemplo, para el escenario de SBO, se muestran los resultados analizados con el Predictor: se pueden apreciar los diferentes estados de la Contención por niveles, según el código de colores explicado anteriormente. Aclarar que la zona verde del interior de la Contención (2s) corresponde al volumen del Pozo Seco y habitaciones de elevaciones superiores que se analizan de forma independiente, y por ello aparece en verde en todos los niveles según la elevación de que se trate.



Figura 3. Estados por niveles para cada volumen de control, sin PAR. SBO

Se puede observar que en las celdas correspondientes al nivel 5 (2sx5) se dan condiciones de detonación, de forma que analizando los resultados más concretamente, la celda con el episodio de detonación más largo en este nivel ha sido la 415, con una duración total de 66 s, que además corresponde a la primera descarga rápida de hidrógeno del transitorio.

411	0	0	0
412	17	15.007	0
413	34	11	0
414	58	0	0
415	6	66	0
416	31	12	3
417	15	0	0
418	0	0	0
419	0	0	0

Figura 4. Resultados Predictor (detdur.txt): Duración de Ventanas de Detonación.

411	0	0	0	0	0	0
412	6218	6235	7757	7772	0	0
413	6222	6256	6259	6270	0	0
414	6219	6277	0	0	0	0
415	6201	6207	6212	6278	0	0
416	6223	6254	6260	6272	6275	6278
417	6229	6244	0	0	0	0
418	0	0	0	0	0	0

Figura 5. Resultados Predictor (detttime.txt): Tiempos de Inicio y Fin de Ventanas de Detonación.

Una vez con los análisis realizados para todos los escenarios y volúmenes de control, y en base a las zonas de riesgo identificadas, se realiza un estudio de ubicación inicial de PARs en base a los resultados obtenidos, así como también teniendo en cuenta los análisis previamente realizados en C.N. Cofrentes para la ubicación de los ignitores y a un walkdown específico para comprobar si en los puntos identificados de acumulación de hidrógeno y alta probabilidad de detonación / deflagración, es posible colocar los PAR física y operativamente.

4. ANÁLISIS DE UBICACIÓN DE LOS PAR

Una vez analizados los caminos de hidrógeno de los casos limitantes, y con la información del espacio disponible tanto en Contención como en Pozo Seco para situar los PAR, se procede a realizar un análisis de distribución óptima de PAR de forma que se reduzcan los tiempos de detonación y deflagración en los escenarios analizados.

Adicionalmente, se tienen en cuenta las siguientes consideraciones:

- La IAEA en su documento “Mitigation of Hydrogen Hazards in Severe Accidents in Nuclear Power Plants, TECDOC 1661”, señala que para una central tipo PWR, se instalan sobre 40 recombinadores en Contención.
- Las centrales que actualmente tienen recombinadores instalados en su Contención, tienen entorno a 40-60 PAR, siendo éstas de una potencia superior a los 1000 MW.
- La C.N. de Trillo cuenta actualmente con 32 PAR instalados en su Contención.

De forma que se analizan diferentes disposiciones, quedando los PAR localizados alrededor de la Contención según los siguientes criterios:

- En los situados en el radio exterior de la Contención, separación mínima de 30 grados entre ellos, lo que hace un máximo por nivel de 12 PAR.
- En los situados en radio del Pozo Seco, separación mínima de 45 grados entre ellos, lo que hace un máximo por nivel de 8 PAR.
- Localización según los huecos disponibles que se vieron en el walk down en zonas de acumulación, y los caminos preferenciales de hidrógeno, resultado de analizar las descargas de hidrógeno sin PAR:
 - Maximización de PAR en zonas bajas de acumulación
 - Maximización de PAR en zonas de paso
 - Optimización de PAR en resto de zonas, donde no se prevé que se sufran acumulaciones de hidrógeno, o que el flujo del mismo sea de la parte superior a la inferior de la Contención, de forma que el PAR no trabajaría.

5. RESULTADOS

Después de obtener una distribución de hidrógeno para cada uno de los escenarios, se selecciona un modelo de PAR estándar con el que se realizan simulaciones con distintas configuraciones de PAR con objeto de optimizar tanto su número como su ubicación.

El análisis se realiza atendiendo a los siguientes criterios de dimensionamiento adicionales para la zona de Contención, y de Pozo Seco:

- Contención: El dimensionamiento de los PARs en Contención se ha establecido en base a la secuencia de SBO. Las secuencias de LOCA y TLOFW no suponen un cambio en los caminos de flujo dentro de la Contención.
- Pozo Seco: El dimensionamiento de los PARs en Pozo Seco se establece en base a la secuencia de TLOFW con rotura en abierto de las rompedoras de vacío. Las secuencias de LOCA y SBO no suponen un cambio en los caminos de flujo dentro del Pozo.

Se analizan las tasas de recombinación de los distintos PAR ubicados en la contención, para comprobar el correcto funcionamiento de forma individual de cada uno de los recombinadores, pudiendo identificar aquellos que por su situación no funcionan correctamente al contar con tasas de recombinación inferiores al resto.

Finalmente, se llega a una configuración óptima en la que se minimice el riesgo de detonación y deflagración, siendo el número de PARs propuesto por C.N. Cofrentes de 53, de los cuales, 47 se ubicarían en contención y 6 en pozo seco.

Para el caso SBO, los resultados se presentan a continuación:

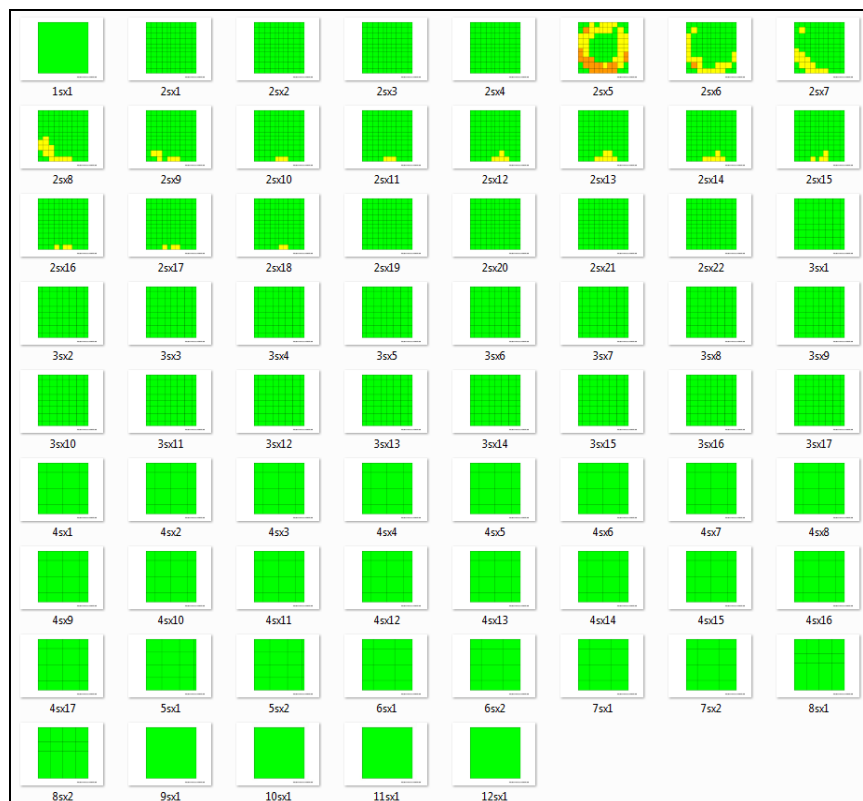


Figura 6. Estados por niveles para cada volumen de control, con PAR. SBO

De forma que se ha eliminado en la totalidad las ventanas de detonación y en un 92% las de deflagración sin ignitores, y en un 99% las de deflagración con ignitores; tan solo en el nivel 5 de la contención (2sx5) se dan aun ventanas de deflagración sin ignitores, debidas a que ese nivel corresponde al inmediatamente superior a la piscina de supresión, y el hidrógeno aún no ha entrado en el recombinador.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la concentración de H₂ en la celda 421 del volumen de control 2s para el caso SBO invessel con PAR. Esa celda corresponde a aquella que está más tiempo en condiciones de deflagración SI (140 segundos), de forma que es

representativa del resto de celdas que presentan deflagración SI. Según los resultados del predictor esos 140 segundos tienen lugar entre los segundos 6210 y 6350 del caso, los cuales corresponden a una de las descargas por las SRV. La grafica inferior muestra en caudal de descarga total de H2 en SRV y se puede observar la coincidencia de los picos de descarga con la de los picos de hidrógeno en la celda.

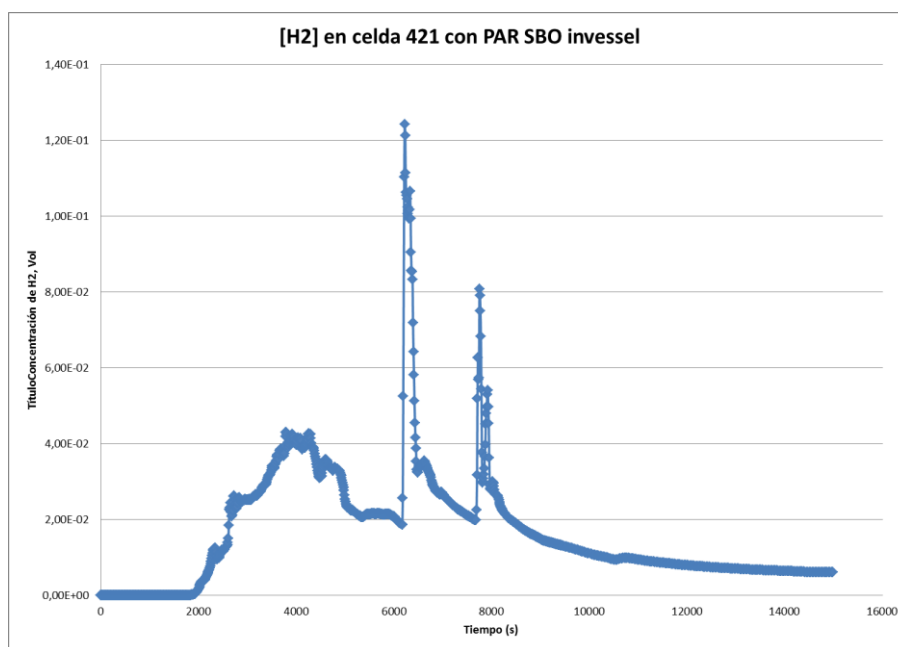


Figura 7. Concentración de hidrógeno en celda 421 de la contención

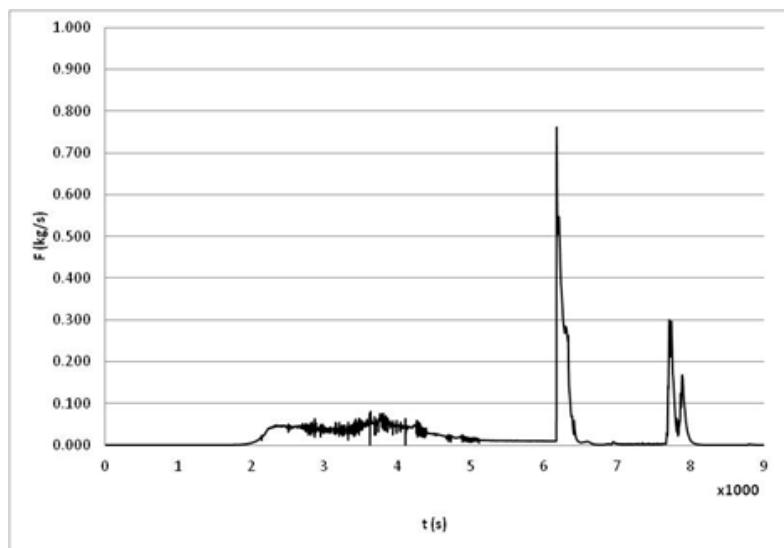


Figura 8. Caudal de descarga de H2 por las SRV caso SBO.

6. CONCLUSIONES

La metodología propuesta ha permitido analizar la instalación de PAR en CN Cofrentes, y el hecho de tener un modelo detallado en 3D ha permitido identificar las zonas de mayor riesgo y conocer el rendimiento operativo de cada PAR fijando criterios de optimización en base a maximización de ese rendimiento individualizado, así como desarrollar una estrategia de implantación de PAR basada en los puntos de acumulación y los caminos preferenciales de hidrógeno.